UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DO FRESAMENTO DISCORDANTE E CONCORDANTE

MARCEL HENRIQUE MILITÃO DIB

Mestre em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Atualmente é professor no IFSP câmpus Araraquara.

Contato: marceldib@ifsp.edu.br

GUILHERME MACHADO BENJAMIN

Realizou projeto de iniciação científica. Atualmente é graduando em Tecnologia em Mecatrônica no IFSP câmpus Araraquara.

Contato: guimachadob@hotmail.com

RENATO GOULART JASINEVICIUS

Doutor em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Atualmente é docente na EESC-USP.

Contato: renatogj@sc.usp.br

UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DO FRESAMENTO DISCORDANTE E CONCORDANTE

Marcel Henrique Militão Dib
Guilherme Machado Benjamin
Renato Goulart Jasinevicius

RESUMO: Dos vários processos que existem para fabricação de peças industriais, automotivas, aeroespaciais, hospitalares, entre outras, o fresamento é um dos processos de usinagem mais utilizados devido a sua capacidade de fabricação de peças geometricamente complexas, por exemplo, peças 3D. Com o objetivo de contribuir para o conhecimento e domínio desse processo, esse artigo apresenta resultados experimentais do fresamento frontal discordante e concordante. Para isso, foram analisadas a aparência e rugosidade da superfície usinada; temperatura e formação do cavaco na região de usinagem. Os resultados mostraram que as superfícies mais espelhadas são alcançadas pelo fresamento concordante, porém, rugosidades menores, para os mesmos parâmetros de corte, são obtidas no fresamento discordante. Por outro lado, a temperatura aparente gerada na região de usinagem foi maior no fresamento discordante que o fresamento concordante. Assim, se a máquina possui um sistema sem folga, o fresamento concordante tona-se mais atrativo, pois a vida útil da ferramenta pode ser prolongada. Mas, se o menor avanço da máquina não atinge a rugosidade mínima necessária, então, convém recorrer ao fresamento discordante no último passo com o objetivo de alcançar uma rugosidade mais apertada.

PALAVRAS-CHAVE: Fresamento frontal, fresamento discordante, fresamento concordante, superfície usinada, mecanismo de formação de cavaco.

AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF CONVENTIONAL MILLING AND CLIMB MILLING

ABSTRACT: Among the various methods of manufacturing industrial, automotive, aerospace and hospital parts, end-milling is one of the most widely used machining processes, due to its ability of manufacturing geometrically complex parts, e.g., 3D parts. In order to contribute for knowledge to the domain of this process, this paper presents experimental results of conventional end-milling (upmilling) and climb end-milling (downmilling). We analysed the appearance and roughness of the

machined surface; temperature and formation of the chips in the machining area. The results showed that the mirrored surfaces are achieved by conventional end-milling, but smaller roughness, for the same cutting parameters, are obtained from the climb end-milling. On the other hand, the temperature generated in the machining area in conventional end-milling was greater than in climb end-milling. Thus, if the machine has a system without backlash, climb end-milling it can be more attractive because the tool life can be prolonged. However, if the minor feed of the machine does not reach the required minimum roughness, then the conventional end-milling must be used in the last step in order to achieve a better roughness.

KEYWORDS: End-milling, conventional end-milling, climb end-milling, machined surface, mechanism of chip formation.

INTRODUÇÃO

Usinagem é um processo complexo. Envolve atrito, deformações plásticas e ruptura do material em condições muito mais extremas do que normalmente se encontra em ensaios dos materiais ou em outro processo (AMAREGO, BROWN, 1969). A Figura 1 demonstra a remoção de material causada por altas deformações e cisalhamento na interface ferramenta peça, por uma usinagem ortogonal.
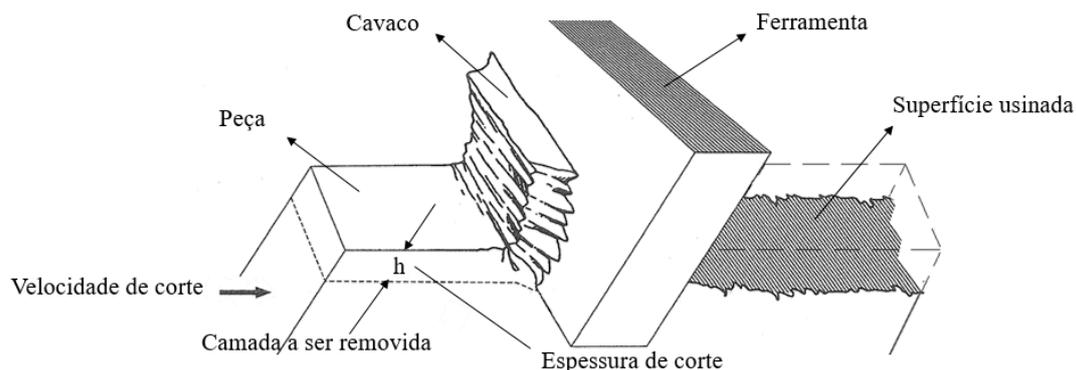
Figura 1: Remoção de material em usinagem.

Fonte: Modificado de Shaw (2005)

Para que a remoção de material ocorra, em geral, nas condições normais de usinagem, há uma penetração da ferramenta na peça e uma pequena porção de material é recalcada contra a

superfície de saída da ferramenta. (Figura 2: porção recalcada). O material recalcado sofre uma deformação plástica, a qual aumenta progressivamente, até que as tensões de cisalhamento se tornem suficientemente grandes, de modo a se iniciar um deslizamento no plano de cisalhamento (Figura 2: deslizamento).

Continuando o movimento, haverá uma ruptura parcial ou completa no plano de cisalhamento, dependendo naturalmente da ductilidade do material e das condições de usinagem. (Figura 2: ruptura). Prosseguindo, inicia-se um escorregamento da porção de material deformada e cisalhada sobre a superfície de saída da ferramenta e ao mesmo tempo, uma nova porção de material é recalcada, repetindo novamente o fenômeno conforme mostra a Figura 2: escorregamento, nova porção de material e repetição do fenômeno (FERRARESI, 1977).
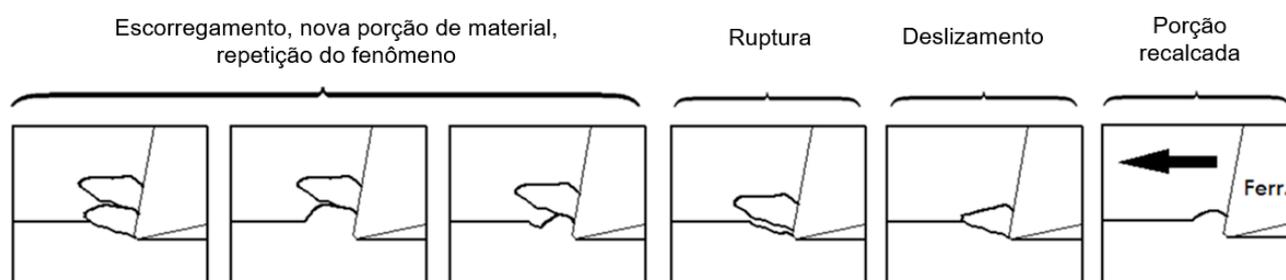
Figura 2: Formação do cavaco em condições normais de usinagem.
Fonte: Modificado de KRONEMBERG (1966)

Após o cisalhamento do material, as pequenas porções de materiais (chamadas de lamelas) vão se agrupando e formam o cavaco. Diferentes tipos de cavacos podem ser obtidos, suas classificações têm sido propostas por pesquisadores. Uma das mais comuns consiste na subdivisão em quatro tipos: contínuo, de cisalhamento, segmentado e de ruptura (FERRARESI,1977; MACHADO, et al., 2009).

Os cavacos contínuos apresentam-se constituídos de lamelas justapostas numa disposição contínua e agrupadas em grupos lamelares (Figura 3-a). Este tipo de cavaco é formado na usinagem de materiais dúcteis e homogêneos, com pequeno e médio avanço, não havendo interferência de vibrações externas ou variação das condições de atrito na superfície de saída da ferramenta. A velocidade de corte é geralmente superior a 60 m/min (FERRARESI, 1977)

Os cavacos de cisalhamento apresentam-se constituídos de grupos lamelares bem distintos e justapostos. Estes elementos de cavaco foram cisalhados na região de cisalhamento e parcialmente soldados em seguida (Figura 3-b). Formam-se quando há diminuição da resistência do material no plano de cisalhamento, devido ao aumento da deformação, à heterogeneidade da estrutura cristalográfica, ou a vibrações externas; também se forma empregando-se grandes

avanços, velocidades de corte geralmente inferiores a 100 m/min e ângulo de saída pequeno (FERRARESI, 1977).

Os cavacos segmentados apresentam-se numa disposição semelhante dentes de serra (Figura 3-c). Durante o cisalhamento, entre as lamelas ocorre uma rotação no plano de cisalhamento, que começa a se afastar da ponta da ferramenta e a se movimentar sobre a superfície de saída. Tal rotação continua até que o aumento da força exceda a força necessária para deformar o material em outro plano mais favorável. Metais, tais como o titânio, com baixa condutividade térmica e resistência mecânica que diminui drasticamente com aumento da temperatura, apresentam esse comportamento [MACHADO, et al.,2009; KALPAKJIAN, SCHMID, 2007).

Os cavacos de ruptura apresentam-se constituídos de fragmentos arrancados da peça usinada (Figura 3-d). Há uma ruptura completa do material em grupos lamelares (na região de cisalhamento), os quais permanecem separados. Formam-se na usinagem de materiais frágeis ou de estrutura heterogênea, tais como ferro fundido ou latão (FERRARESI, 1977).
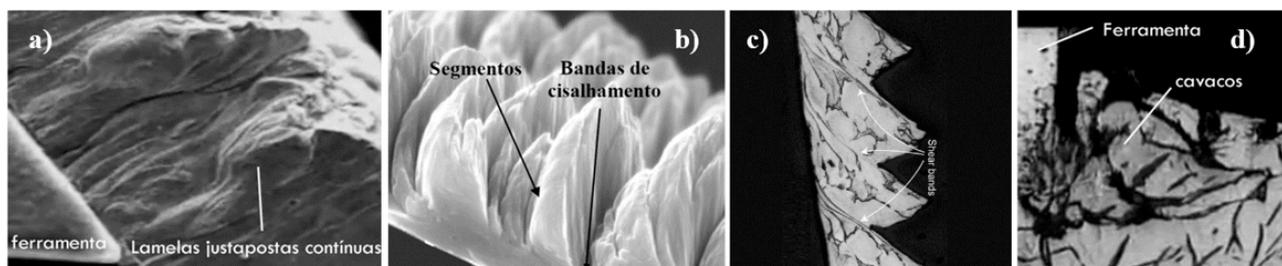
Figura 3: Cavacos: a) contínuo; b) de cisalhamento; c) segmentado; d) de ruptura. Fonte: Modificado de Iscar (2012),Colafemina (2005), Bäker, Rösler, Siemers (2002), Kennametal (2012).

O tipo de cavaco produzido durante a usinagem depende das propriedades do material da peça e dos parâmetros de usinagem. As propriedades do material da peça incluem: resistência ao escoamento, resistência ao cisalhamento sob forças de compressão, características de encruamento, comportamento do atrito, dureza e ductilidade. Aos parâmetros de usinagem incluem: material da ferramenta, ângulos da ferramenta, geometria da aresta de corte (a qual se altera devido ao desgaste da ferramenta, velocidade de corte, avanço, e profundidade de usinagem) e o ambiente de corte (deflexão da máquina ferramenta, fluidos de corte, dentre outros). Mais complicações resultam no tipo de cavaco quando se tem formação da aresta postiça (Figura 4-a), que é o material da peça depositado na superfície de saída da ferramenta próximo a aresta de corte. Embora este material proteja a aresta de corte, ele modifica a geometria da ferramenta. A aresta postiça não é estável e se desfaz periodicamente, aderindo ao cavaco ou passando sobre a ferramenta e aderindo a superfície usinada (METALS HANDBOOK, 1989).

Além dos tipos de cavacos, pode-se diferenciá-los quanto a sua forma (Figura 4-b). Certas formas de cavacos dificultam a operação de usinagem, prejudicam o acabamento e desgastam mais ou menos a ferramenta de corte. Entre as principais formas têm-se: cavaco em fita, cavaco helicoidal, cavaco em espiral e cavaco em lascas ou pedaços (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2009). Geralmente, cavacos de forma helicoidais e curtos proporcionam fácil armazenamento.
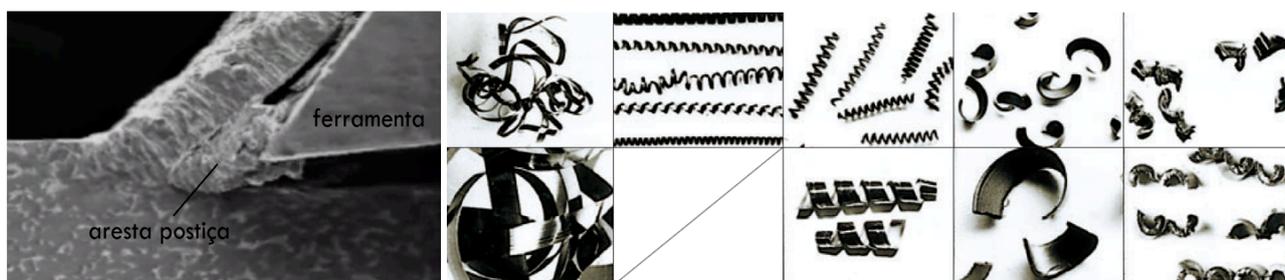
Figura 4: Formação do cavaco: a) Aresta postiça, b) : Diferentes fomas de cavacos.
Fonte: Modificado de Oerlikon Balzers (2012) e Mitsubishi (2015).

FRESAMENTO

O fresamento é a operação de usinagem com formação de cavaco que se caracteriza por: a ferramenta multicortante, dita fresa, é provida de arestas cortantes dispostas simetricamente ao redor de um eixo; a ferramenta é provida de um movimento de rotação ao redor de seu eixo, permitindo assim que cada uma das arestas cortantes (ditos dentes da fresa) retire a parte de material que lhe compete; o movimento de avanço, que permite o prosseguimento da operação, é geralmente feito pela própria peça em usinagem, que está fixada na mesa da máquina, (raramente o movimento de avanço é feito pela própria ferramenta); o movimento de avanço obriga a peça a passar sob a ferramenta que lhe dá a forma e dimensão desejadas (FERRARESI, RUFFINO, PALLEROSI, 1974; DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2009).

A American Society for Metals (ASM) define fresamento como o processo de usinagem no qual o material é removido pelo movimento rotativo da ferramenta multicortante; cada ferramenta remove uma pequena quantidade de metal a cada revolução do eixo árvore. A peça e a ferramenta de corte podem se movimentar em mais de uma direção ao mesmo tempo, assim qualquer superfície pode ser usinada (METALS HANDBOOK, 1989).

Segundo Stemmmer (2007), outra definição de fresamento caracteriza-se por um processo de usinagem no qual a remoção de material da peça se realiza de modo intermitente, pelo movimento rotativo da ferramenta que geralmente é multicortante, assim, é possível gerar

superfícies das mais variadas formas.

Portanto, pode-se entender que o fresamento é a remoção de material com espessura de corte instantaneamente variável, em corte interrompido e geometria da ferramenta definida, gerado pela combinação do movimento rotativo da ferramenta multicortante e o avanço da mesa.

Os principais tipos de fresamento são o tangencial (Figura 5- a e b) e o frontal (Figura 5- c e d), além do corte ser concordante ou discordante (DINIZ, MARCONDES, COPPINIO, 2009). Fresamento tangencial realiza grande parte da usinagem na superfície cilíndrica da ferramenta (ap > ae), e o fresamento frontal age na superfície frontal da ferramenta (ap < ae), em que “ae” é a penetração de trabalho e “ap” é a profundidade de usinagem. O corte concordante ocorre quando o sentido do movimento de avanço da peça tem o mesmo sentido do movimento de rotação da fresa. Já no corte discordante, o sentido de movimento da peça é ao contrário do movimento de rotação da fresa:
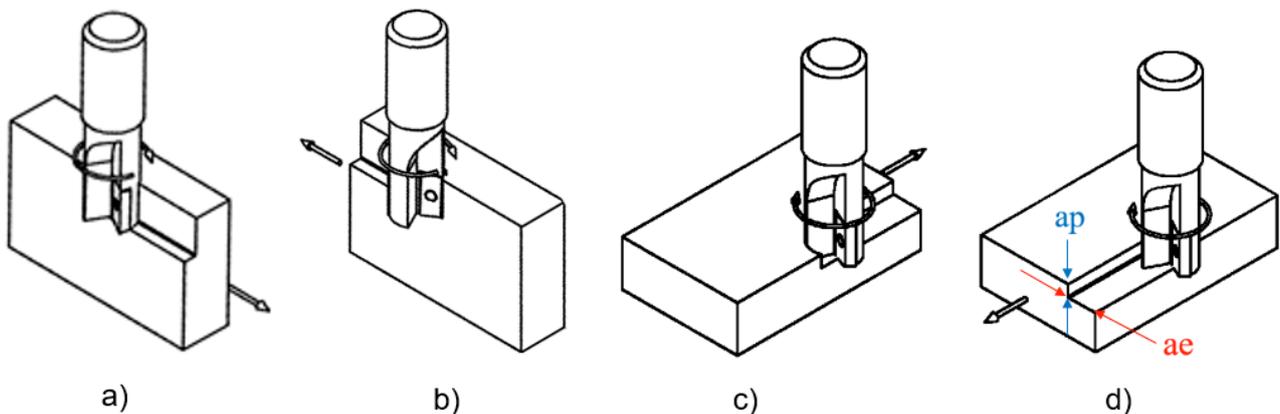
Figura 5: Tipos de fresamento, a) tangencial concordante, b) tangencial discordante, c) frontal concordante e d) frontal discordante.

Do fresamento frontal, distinguem-se ainda mais três formas de fresar: fresamento em cheio, fresamento parcial e fresamento de face (Figura 6). No fresamento em cheio a fresa entra inteiramente na peça e é sempre menor que a peça; no parcial, uma parte da fresa fica para fora da peça; e no de face, a peça é sempre menor que a fresa.
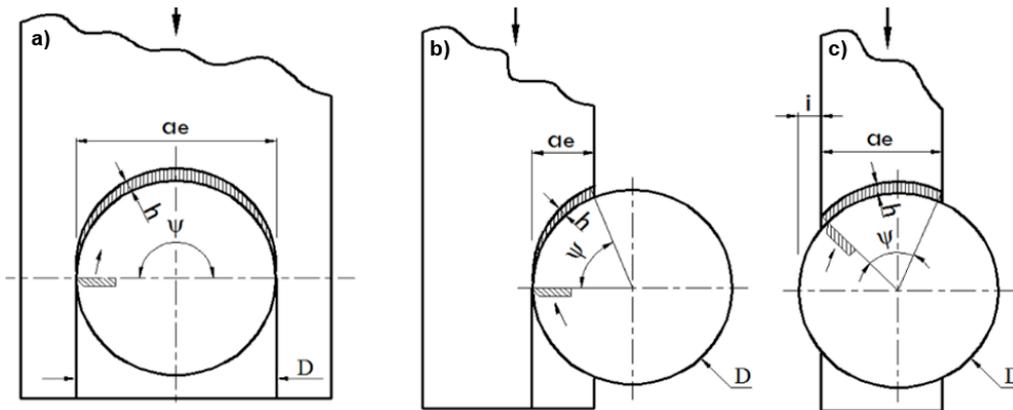
Figura 6: Fresamentos: a) fresamento em cheio, b) fresamento parcial, c) fresamento de face.

Conforme a Figura 6, é possível observar que a espessura de corte (h), que se encontra dentro do ângulo de contato ψ, é variável. Essa espessura varia conforme o movimento de giro e de avanço da fresa.

FRESAMENTO DISCORDANTE E CONCORDANTE

Outra forma de verificar se o fresamento é discordante ou concordante é pela variação da espessura de corte h. No fresamento discordante a espessura de corte h inicia com um valor próximo de zero e vai aumentando gradativamente até um valor máximo; por outro lado, quando o corte é concordante, a espessura de corte começa com um valor máximo e vai diminuindo até um valor mínimo próximo de zero. Os cortes discordante e concordante podem ser observados, respectivamente, pela Figura 7.
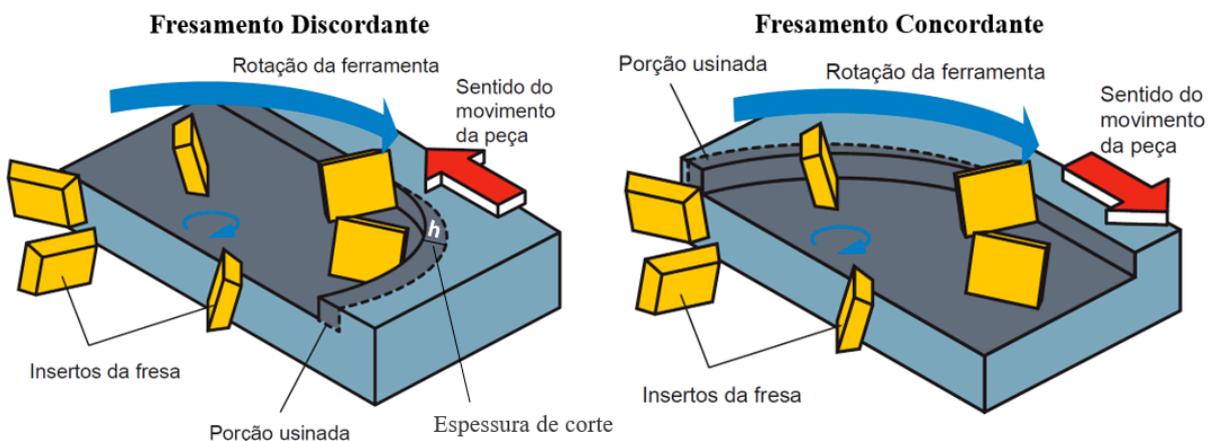
Figura 7: Fresamento discordante e concordante, respectivamente.

Fonte: Modificado Mitsubishi (2015)

Pelo fato do fresamento discordante iniciar com espessura de corte próxima de zero, a aresta de corte de um dente da fresa é forçada para dentro da peça, criando um excessivo atrito com consequente deformação plástica daquela região ao invés da formação do cavaco. Além disso, o contato é realizado com uma superfície encruada, causada pelo corte do dente anterior da fresa (SANDVIK COROMANT , 2013). Quando a pressão da aresta cortante atinge um valor capaz de vencer a tensão de ruptura do material da peça, a ferramenta penetra a peça e, conforme os movimentos de corte, retira uma porção de material em forma de vírgula (cavaco) ao final do movimento de corte. Assim, durante a atuação de cada dente da fresa, as forças de usinagem tendem a empurrar a peça em sentido contrário ao do movimento de avanço, o que elimina folgas presentes no sistema de avanço da máquina. Porém, provavelmente, torna a vida útil da ferramenta menor, em decorrência dos altos atritos iniciais.

No fresamento concordante, as forças de usinagem tendem a empurrar a peça no sentido do movimento de avanço com força máxima no início e força mínima ao final do movimento de corte, conforme a variação da espessura de corte. Assim, a força resultante final sobre o sistema de avanço da máquina varia de um valor máximo ao mínimo. Uma vez que os movimentos de corte e de avanço estão no mesmo sentido, essa variação pode gerar vibrações na máquina. Este inconveniente tem sido corrigido diminuindo as folgas do sistema de avanço da máquina ou utilizando fusos de esferas recirculantes (presentes em máquinas CNC). Devido ao contato do dente da fresa na espessura de corte máxima no início da usinagem, a aresta cortante não entra em contato com a camada endurecida pelo corte anterior e também não há um excessivo atrito da ferramenta para penetrar a peça, pois o corte inicia cisalhando o material. Assim, provavelmente, as temperaturas tendem a ser menores na região de usinagem, prolongando a vida útil da ferramenta.

OBJETIVOS

Uma análise comparativa experimental do fresamento discordante e concordante ainda não tem sido realizada. Com o intuito de contribuir conhecimentos práticos à sociedade industrial e científica, esse artigo tem por objetivo determinar a influência do fresamento discordante e concordante na superfície da peça, na região de usinagem e na formação do cavaco.

MATERIAIS E MÉTODOS

A ferramenta de corte e o cabeçote fresador usados nos experimentos, conforme apresenta a Figura 8, foram a pastilha de metal duro revestida com a seguinte designação: 345R-1305M-PM 4230; e o cabeçote fresador (345-080Q27-13M) para o alojamento de seis insertos, com diâmetro de 80 mm. Ambos da marca Sandvik Coromant®.
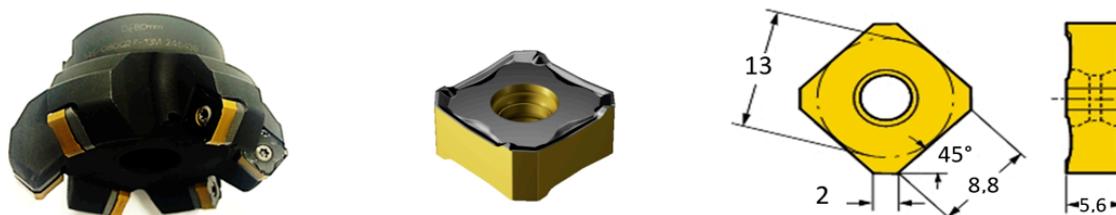
Figura 8: Cabeçote fresador e pastilha de metal duro.

Conforme mostra a Figura 9, a máquina ferramenta usada foi uma fresadora convencional e o material da peça foi o aço ABNT 1020 (36 mm X 36 mm X 100 mm). Uma câmera térmica SKF – TKTI 10 foi utilizada para captação da temperatura durante o fresamento e um rugosímetro da marca Mitutoyo SJ-201 foi usado para medir a rugosidade das superfícies da peça após serem usinadas. Por fim, um projetor de perfil (EP-1) foi utilizado para visualização da forma do cavaco produzido na usinagem.
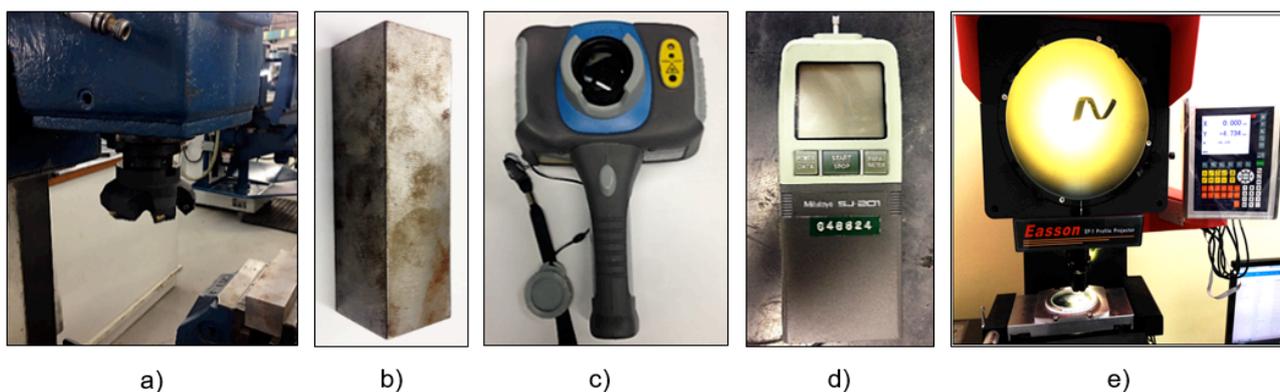
Figura 9: Componentes usados no experimentos, a) fresadora convencional, b) peça ABNT 1020, c) câmera térmica, d) rugosímetro portátil, e) perfilômetro.

Os parâmetros de corte foram adotados conforme recomendações do fabricante, a tabela a seguir apresenta esses dados:

Tabela 1: Parâmetros de corte adotados para os experimentos.

Velocidade de corte	Avanço por dente	Profundidade de corte	Penetração de trabalho
190 [m/min]	0,15 [mm/dente]	1 [mm]	30 [mm]

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para análise dos resultados foram realizados quatro fresamentos discordantes e quatro fresamentos concordantes, com os mesmos parâmetros de corte apresentados pela Tabela 1. Cada tipo de fresamento iniciou-se com uma aresta de corte nova. A Figura 10 apresenta o estado visual das superfícies após o fresamento. Pode-se observar que no fresamento concordante, para o aço ABNT 1020, conseguiu-se superfícies mais espelhadas.
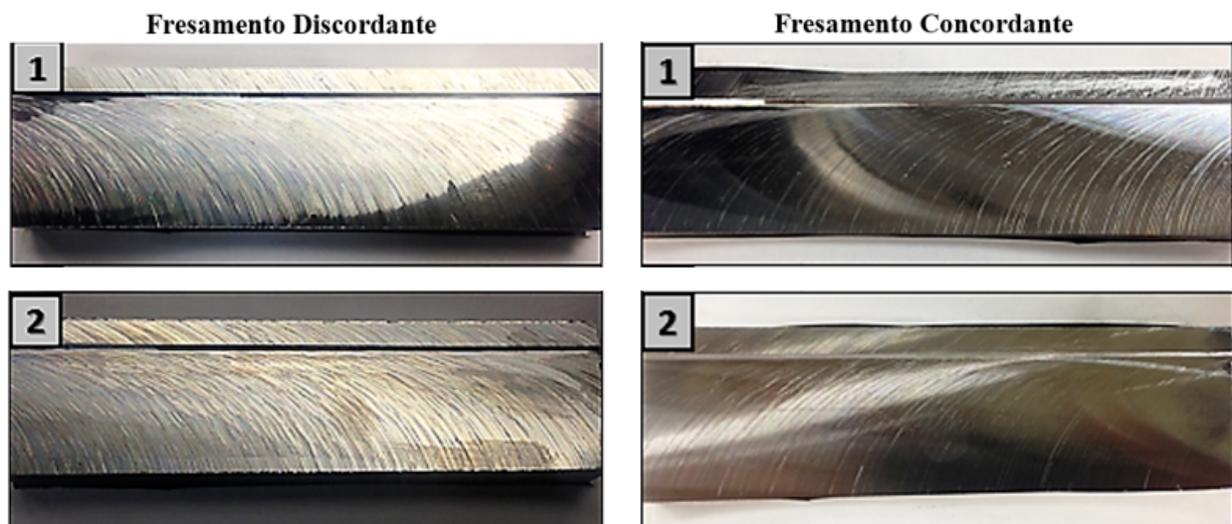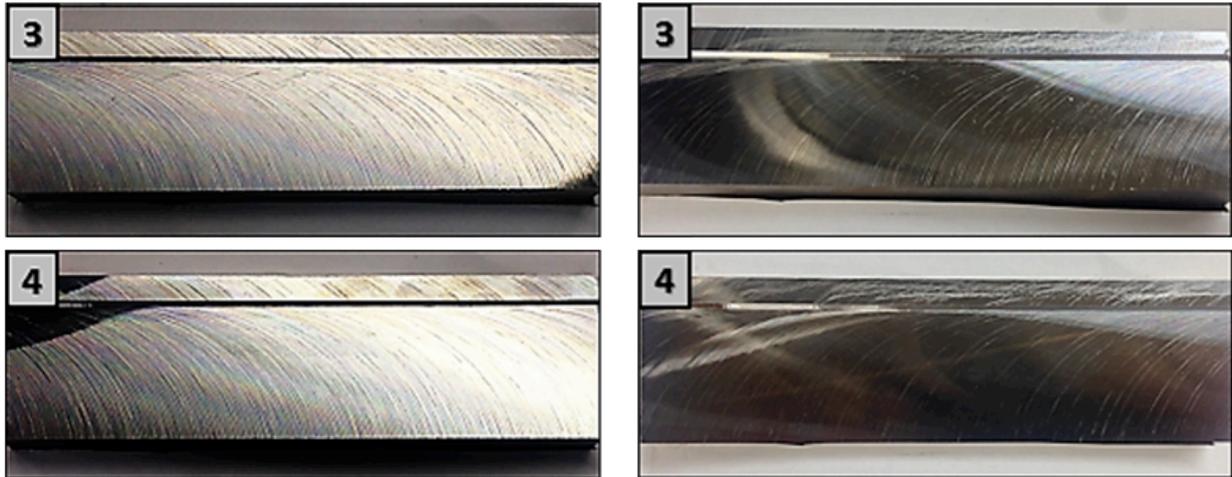
Figura 10: Estado visual das superfícies usinadas.

RUGOSIDADE

Com o rugosímetro Mitutoyo SJ-201, foram medidas as rugosidades dos experimentos em três partes de cada superfície usinada (no início, meio e fim). Registrado as rugosidades de todos os experimentos, foi possível calcular a média e o desvio padrão dos resultados, conforme é apresentado pela Figura 11.
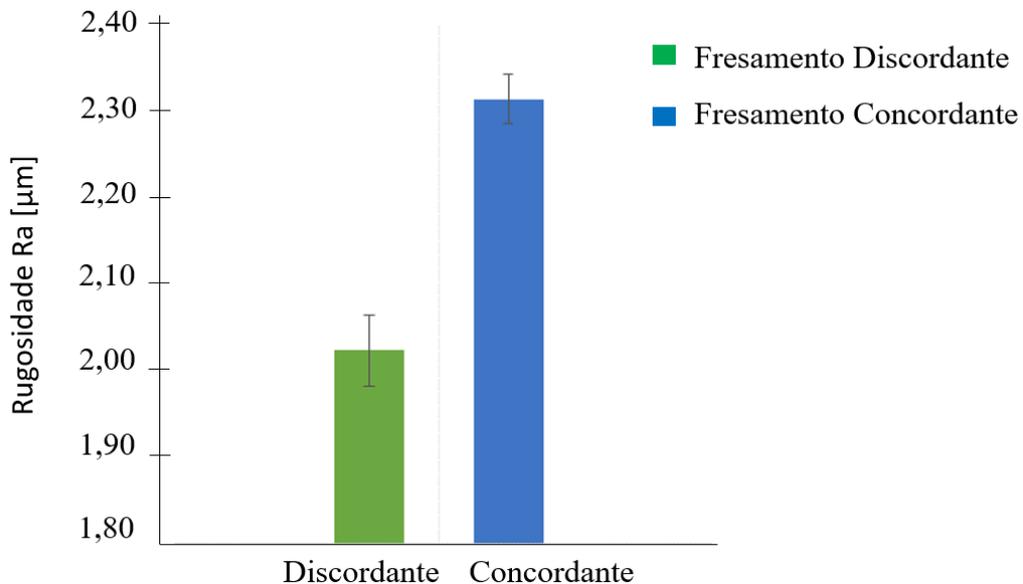
Figura 11: Rugosidade das superfícies usinadas.

Pode-se observar na Figura 11 que o fresamento discordante apresentou, para os mesmos parâmetros de corte, valores de rugosidade melhores que o fresamento concordante. Isto pode ser explicado pelo movimento de corte. De acordo com estudos de Bao e Tansel (2000), existe uma diferença do movimento de corte do fresamento discordante com o concordante.

O movimento de corte do fresamento discordante é na direção oposta ao avanço da mesa, fazendo com que a trajetória circular, traçada por um ponto de referência da aresta de corte, obtenha um raio de curvatura maior que o raio de curvatura da trajetória do fresamento concordante. Provavelmente, o aumento do raio de curvatura melhora a rugosidade por causar uma menor distância entre os picos ou vales.

TEMPERATURA APARENTE

Com a câmera térmica SKF – TKTI 10, foi possível fotografar os experimentos para medição da temperatura aparente. Durante o fresamento, o dente da fresa entra e saí da peça frequentemente (por isso que o fresamento é considerado um corte intermitente), pois nesse processo a ferramenta de corte realiza o giro e a peça se movimenta na direção de avanço. O calor do processo é gerado pelo atrito entre a peça e a ferramenta, e pelas deformações elasto-plásticas da camada removida do material da peça. Portanto, é possível observar grande parte do calor no cavaco e na região de usinagem. Pela imagem 2 da Figura 12-a, pode-se observar o calor na região de usinagem (I) e no cavaco (II) que se encontra a uma certa distância da ferramenta. Ressalta-se que a temperatura medida não é a efetiva e sim a aparente ao redor da usinagem.
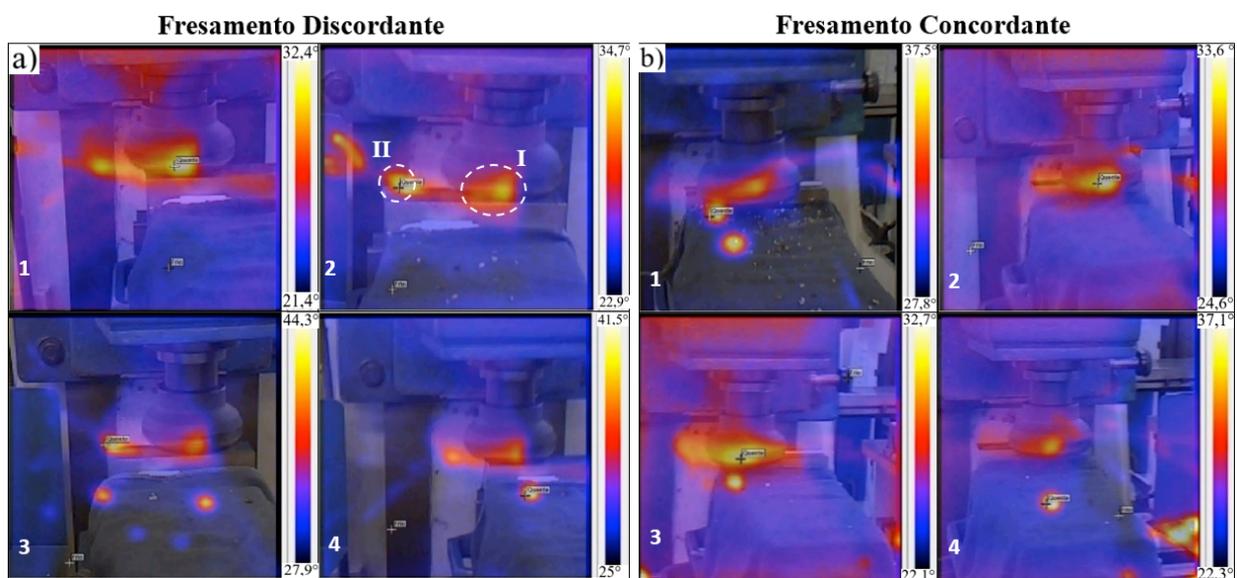
Figura 12: Temperatura aparente: a) Fresamento Discordante, b) Fresamento Concordante.

Os resultados da temperatura aparente na região de usinagem, com seus respectivos desvios padrão, são apresentados pela Figura 13. Para os experimentos realizados nesse artigo, os resultados corroboram a probabilidade do fresamento discordante gerar maior calor na região de usinagem que o fresamento concordante. Esse fato pode ser relacionado ao maior atrito no início do corte (esfregamento da ferramenta na peça) do fresamento discordante, em que a ferramenta inicia com o valor da espessura de corte igual a zero e vai aumentando até um valor crítico capaz de cisalhar o material e começar a formação do cavaco. O que não acontece no fresamento concordante, pois a ferramenta começa com espessura de corte no seu valor máximo e consequentemente o fenômeno mecânico de remoção de material se inicia cisalhando o material e formando cavaco.
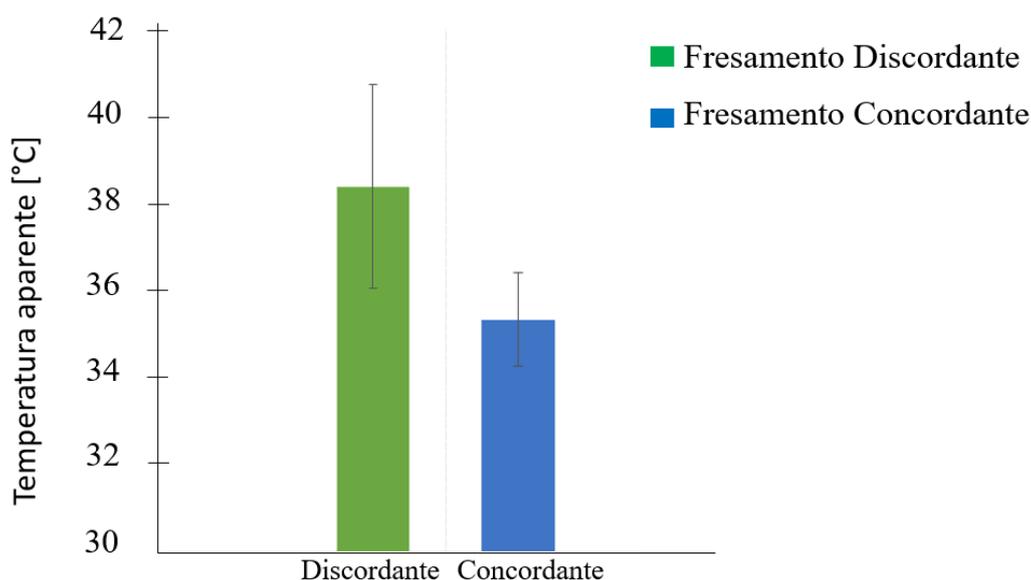
Figura 13: Temperatura aparente [°C] ao redor da área de usinagem no fresamento.

CAVACOS

O tipo de cavaco é determinado pelas características físicas do material da peça, vibração e dos parâmetros de usinagem (por exemplo: avanço e velocidade de corte). Por outro lado, a forma do cavaco é determinada pela geometria da ferramenta.

Os cavacos formados durante o processo de fresamento, tanto discordante quanto o concordante, para o aço ABNT 1020 e ferramenta de metal duro revestida, são apresentados pela Figura 14. Pode-se observar que o tipo de cavaco formado foi o cavaco contínuo, esse tipo de

cavaco geralmente é formado em materiais dúcteis, o que favorece um fluxo contínuo da junção das lamelas após o cisalhamento. A forma do cavaco foi a helicoidal, essa forma é devido à combinação dos ângulos de saída e inclinação da ferramenta.
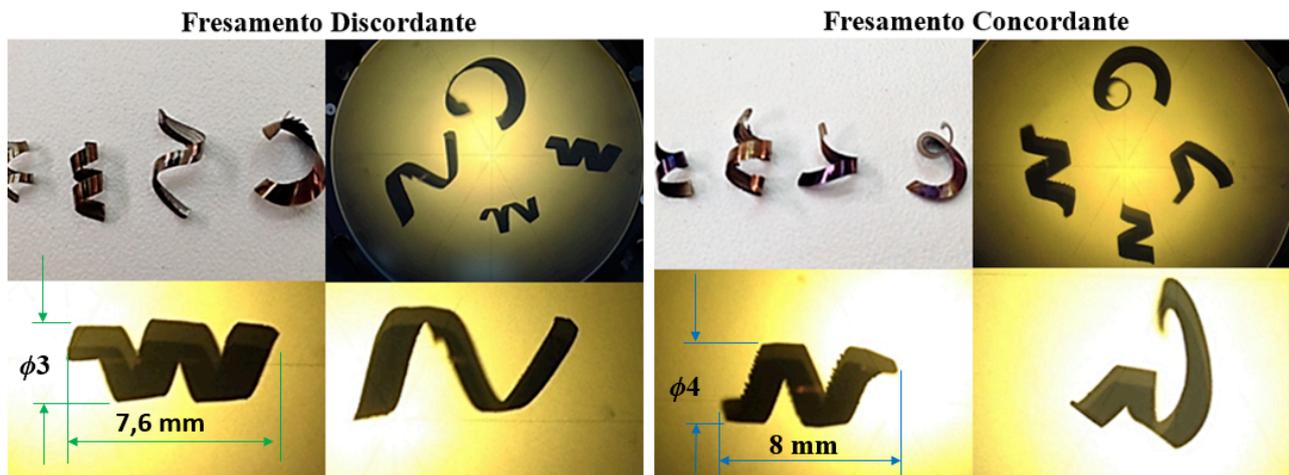
Figura 14: Formação do cavaco no fresamento discordante e concordante.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados da análise experimental do fresamento frontal discordante e concordante para o par material e ferramenta, respectivamente, o aço ABNT 1020 e o inserto de metal duro revestido, é possível chegar às seguintes conclusões:

Pelo fresamento concordante, consegue-se uma superfície usinada mais espelhada que no fresamento discordante. Entretanto, alcança-se uma superfície menos rugosa, para os mesmos parâmetros de corte, no fresamento discordante.

O fresamento concordante proporciona uma usinagem com menores temperaturas na região de usinagem, o que pode acarretar o aumento da vida útil da ferramenta.

Os cavacos formados no fresamento discordante não apresentaram diferenças significativas do fresamento concordante

Portanto, se a máquina possui um sistema sem folga, o fresamento concordante tona-se mais atrativo, pois a vida útil da ferramenta pode ser prolongada. Mas, se o menor avanço da máquina não atinge a rugosidade mínima necessária, então, convém recorrer ao fresamento discordante no último passo com o objetivo de alcançar uma rugosidade mais apertada.

AGRADECIMENTOS

Ao SENAI Henrique Lupo de Araraquara pela parceria com o IFSP câmpus Araraquara, para viabilização da medição de temperatura. Ao professor Fabio Eduardo de Oliveira Costa por fazer as medições de temperatura e auxiliar a execução dos experimentos.

REFERÊNCIAS

AMAREGO, E. J. A.; BROWN, R. H. **The Machining of metals**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1969.

BÄKER, M.; RÖSLER, J.; SIEMERS, C. **A Finite element model of high speed metal cutting with adiabatic shearin**g. Computers & Structures, v. 80, n. 5-6, p. 495-513, Jan, 2002.

BAO,W. Y.; TANSEL, I. N. **Modeling micro-end-milling operations**. Part II: tool run-out. Internacional Journal of Machine Tools & Manufacture, n. 40, p.2175-2192, June, 2000.

COLAFEMINA, J. P. (2005). **Estudo da microestrutura do Ti (CP) da liga Ti-6Al-4V no torneamento com ferramenta de diamante**. 132p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de são Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

DINIZ, A.E.; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Artliber, 2009.

FERRARESI, D.; RUFFINO, R. T; PALLEROSI, C. A. **Usinagem dos metais: processo de fresamento**. 3 ed. São Paulo: ABM, 1974

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

ISCAR. (2012). Disponível em:<http://www.iscar.com/>. Acesso em: 28 May 2012.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing processes for engineering materials**. 5thed. New Jersey: Pearson Education, 2007.

KENNAMETAL. Disponível em: <http://www.kennametal.com/en-US/home.jhtml?_request id= 234698 >. Acesso em: 28 May 2012.

KRONEMBERG, M. **Machining science and application: theory and practice for operation and development of machining processes**. London: Pergamon Press, 1966.

MACHADO, A. R. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher.

METALS HANDBOOK, vol. 16. **Machining**, 9ª ed., ASM International, 1989.

MITSUBISHI. Disponível em: < http://www.mitsubishicarbide.net/contents/mht/pt/html/product/technical_information/information/turning_chip_contol.html>. Acesso em: 09 Outubro de 2015.

OERLIKON BALZERS. Disponível em:<http://www.oerlikon.com/balzers>. Acesso em: 25 May 2012.

SANDVIK COROMANT. Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/pt-

pt/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/default.aspx>. Acesso em: 22 Jan. 2013.

SHAW, M. C. **Metal cutting principles**. 2nded. New York: Oxford University Press, 2005.

STEMMMER, C. E. **Ferramentas de corte** I. 7thed. Florianópolis: Ed.UFSC, 2007.